

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

## ZAVRŠNI RAD

# **Analiza sastava, mogućnosti korištenja te utjecaja na okoliš peleta izrađenih od drvnog ostatka**

Student: Viktor Zaman

Mentor: Prof. dr.sc. Davor Ljubas

**Zagreb, siječanj 2013.**



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Datum 8-09-2014 Prilog
Klasa: 602-04/14-6/2
Ur.broj: 15-1703-14-361

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Viktor Zaman

Mat. br.: 0035169539

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza sastava, mogućnosti korištenja te utjecaja na okoliš peleta izrađenih od drvnog ostatka**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of the composition, the possibilities of using and the environmental impact of pellets made of wood residues**

Opis zadatka:

Peleti izrađeni od drvnog ostatka, kao jednog od mogućih oblika biogoriva, su u odnosu na fosilna goriva znatno ekološki prihvatljiviji oblik goriva, a mogu se koristiti u industrijske i ne-industrijske svrhe. Peletiranje je postupak pripreme proizvoda – peleta – ugušćivanjem u obliku valjčića (češće) ili kuglica (rjeđe) koji se sastoji od mehaničkog zbijanja piljevine, blanjevine ili bruševine s vezivnim sredstvom ili bez njega. Drvena biomasa u obliku peleta omogućava postizanje stupnja automatiziranosti korištenja koja se obično do sada mogla postići samo korištenjem fosilnih (kapljevutih i plinovitih) goriva.

U svijetu je tek u zadnja dva desetljeća zaživjela proizvodnja i korištenje peleta, a tržište u Republici Hrvatskoj, što se tiče peleta od drvnog ostatka, je zapravo tek u začetku.

Stoga je u ovom radu potrebno:

- definirati osnovne pojmove vezane uz svojstva, proizvodnju i korištenje peleta;
- prikazati i objasniti zahtjeve međunarodnih i domaćih normi vezanih za pelete izrađene od drvnog ostatka
- prikazati razlike u zahtjevima i korištenju peleta u industriji i za ne-industrijske potrebe;
- nabaviti najmanje tri uzorka kemijski netretiranih peleta od drvnog ostatka dostupnih na tržištu i obaviti na njima osnovne laboratorijske analize (vlaga, dimenzije, nasipna gustoća, pepeo, gornja i donja ogrjevna vrijednost) te objasniti neke od specifičnosti laboratorijskih analiza koje su vezane za pelete, a ne za neka druga goriva (npr. ugljen).

U završnom dijelu rada potrebno je istražiti koje količine energije su potrebne za proizvodnju jedinične količine peleta, uzimajući u obzir i klasiranje drveta na tvrdo i meko drvo, prikazati procijenjene količine i udio peleta u količini biogoriva koja se koriste u Republici Hrvatskoj te usporediti te podatke s barem nekoliko europskih zemalja.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

23. travnja 2014.

2. rok: 12. rujna 2014.

2. rok: 22., 23. i 24. rujna 2014.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas

Prof. dr. sc. Igor Balen

## Sadržaj

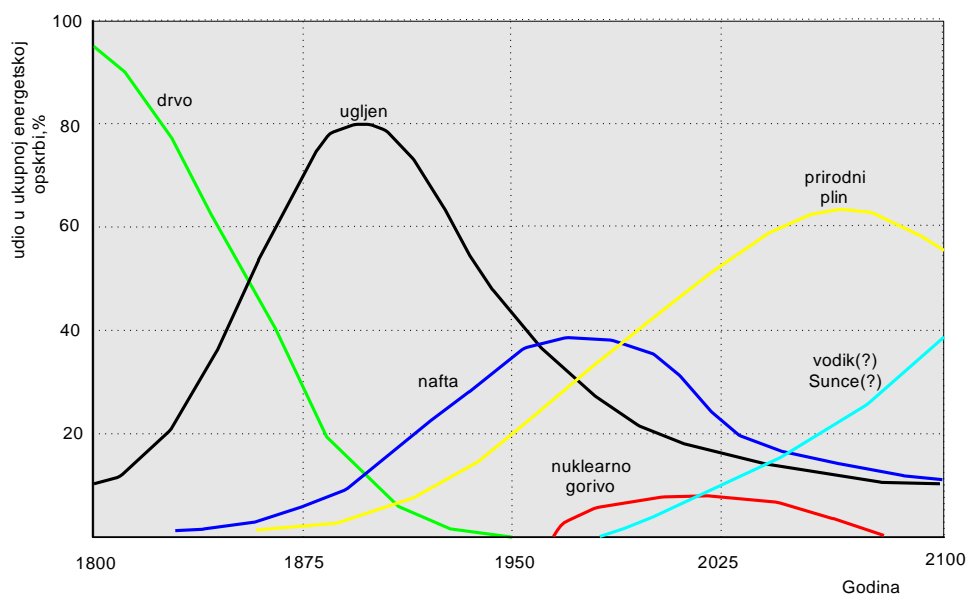
1. Uvod.....	3
2. Peleti.....	5
2.1. Pojmovno određenje peleta.....	5
2.2. Proizvodnja peleta.....	6
2.3. Ogrijevna vrijednost peleta .....	8
2.4. Korištenje peleta .....	9
3. Norme.....	10
3.1. Domaće norme za pelete.....	10
3.2. Međunarodne norme za pelete .....	12
4. Opća upotreba peleta.....	17
4.1. Upotreba peleta u industriji.....	17
4.2. Upotreba peleta za ne-industrijske potrebe.....	17
4.3. Tržište peleta u Republici Hrvatskoj .....	19
4.4. Peleti i njihov utjecaj na okoliš.....	20
5. Zaključak.....	22
Literatura.....	23
Rezultati laboratorijskih ispitivanja. ....	



## 1. Uvod

Drvo je od davnina jedan od čovjekovih saveznika te je njegovo služenje u svojstvu izvora topline poznato već stoljećima. Neodvojiv od toga je i proces gospodarenja i sječe šuma, no i proizvodnja, sušenje i uporaba samog drva koje čovjek počinje koristiti u svakodnevnom životu vodeći računa o tome da primjenjuje održiv proces, odnosno da ga iskorištava u okviru svojih potreba.

S promjenom vremena i navika, korištenje drva za čovjekove potrebe polako je prepustilo primat uporabi fosilnih izvora goriva, što se može vidjeti na Dijagramu 1.



Dijagram 1: Udio pojedinih energenata u svjetskoj energetskej opskrbi u prošlosti i predviđanja za budućnost [1]

No, kako se i u posljednje vrijeme čovjek okreće sve više tehnologijama koje su ekološki prihvatljivije, tako je ponovno otkrio u drvu veliku mogućnost upotrebe kao obnovljivog goriva. Zanimanje za ovu tehnologiju i sirovine sve su više u fokusu kako europskih zemalja tako i Hrvatske te su donešene i određene političke smjernice za razvoj i očuvanje spomenutog. U ovom segmentu, veliku ulogu imaju norme. One donesene za fosilna goriva zapravo su bile pokretač svjetske trgovine. Danas poznajemo norme koje se koriste za drvna

goriva za koje se isto tako očekuje da svojim zadanim okvirima i smjernicama utječu na razvoj i širenje upotrebe drvnih goriva.

Biomasa je vrlo prihvatljivo gorivo s gledišta utjecaja na okoliš jer sadrži vrlo malo ili čak uopće ne sadrži brojne štetne tvari – sumpor, teške kovine i sl., koje se nalaze u fosilnim gorivima, a koje se njihovim izgaranjem emitiraju u zrak te ugrožavaju naše zdravlje i okoliš. Glavna prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je njena obnovljivost. Računa se da je opterećenje atmosfere s  $\text{CO}_2$  pri korištenju biomase kao goriva zanemarivo, budući da je količina emitiranog  $\text{CO}_2$  prilikom izgaranja jednaka količini apsorbiranog  $\text{CO}_2$  tijekom rasta biljke.

Predmet ovog završnog rada je pobliže predstavljanje peleta kao jednog od mogućih oblika biogoriva. Cilj je pojmovno odrediti osnovne elemente, proizvodnju i upotrebu, a onda i ostale vezane pojmove kao što su domaće i međunarodne norme za proizvodnju kao i mogućnost industrijske i ne-industrijske primjene. Sukladno navedenom, rad je podijeljen u tri cjeline uz uvod i zaključni dio.

## **2. Peleti**

### **2.1. Pojmovno određenje peleta**

Biomasa obuhvaća velik broj krutih, kapljevitih i/ili plinovitih sirovina koje se mogu koristiti za proizvodnju toplinske i električne energije, zajedničko dobivanje toplinske (biotoplane, individualne peći na pelete) i električne energije (kogeneracija) ili mehaničke energije (biogoriva za prijevoz). Prema mjestu nastanka razlikuje se šumska (ogrjevno drvo, granje, lišće, iverje), poljoprivredna (ostatci pri uzgoju poljoprivrednih proizvoda ili energetske usjevi, prvenstveno uljarice i masti), biomasa iz otpada (nakon pročišćavanja otpadnih voda, otpad drveno-prerađivačke industrije) i biomasa nastala pri industrijskim procesima, [2].

Peleti su prešani drvni ostaci (piljevina i sl.) dobiveni mehaničkim prešanjem u posebnim strojevima. Odlikuju se velikom ogrjevnom sposobnošću i čistoćom sastava. Grijanje na pelete predstavlja relativno novi oblik grijanja korištenjem drvene biomase. Osnovne karakteristike peleta definirane su standardima DIN plus, ÖNORM M7135, DIN 51731, [3].

Osim tehničkih karakteristika, postoje i drugi standardi koji sadrže specifikacije za razne parametre koji karakteriziraju pelete i ostala goriva od biomase. Metode za određivanje spomenutog izvedene su iz standarda EN 14961-1. Europski test mjerenja za duljinu i promjer peleta je u razvoju dok se u praksi ova mjerenja izvode uglavnom ručno mjereći svaki pojedinačni pelet s pomičnim mjerilom koji se koristi u testiranju. Rezultati bi se trebali kretati od 40 mm za pelete D06, D08 i D10. EN 14961-1 regulira gustoću koja mora biti utvrđena prema EN 1503. EN 14961-1 određuje vlagu prema EN 14774-1. Sadržaj pepela se određuje prema EN 14775 na 550°C, no ista se razina prema normi ÖNORM M7135 i DIN 51731 određuje na 850°C. [4]

Posjeduju neutralnu emisiju stakleničkih plinova, [5]. Obzirom na ovo svojstvo, peleti bi svakako trebali postati jedan od značajnijih energenata budućnosti, odnosno ekološki predstavnik energenata pomoću kojeg će se nastojati umanjiti koncentracija štetnih tvari u atmosferi za generacije koje dolaze. Peleti kao gorivo iz drvnog ostatka izumljeni su u kasnim sedamdesetim godinama 20. stoljeća u SAD-u.

Kako je spomenuto na početku, jedno od svojstava peleta je snižena, gotovo neutralna emisija stakleničkih plinova, a do toga dolazi iz razloga jer peleti pri izgaranju emitiraju zanemarivu količinu CO<sub>2</sub> i to onu istu koju je drvo primilo tijekom života u procesu fotosinteze i ugradilo u svoju strukturu (celuloza, šećeri). Upravo iz tog razloga, kaže se da je riječ o energentu s približno neutralnom emisijom CO<sub>2</sub> koji ne narušava bitno ravnotežu u okolišu, [6].

## **2.2.   Proizvodnja peleta**

Peleti nastaju prešanjem usitnjene drvene sječke pod visokim pritiskom. Pri vezivanju kao svojstvo im služi lignin koji označava grupu makromolekularnih spojeva izgrađenih od fenilpropanskih jedinica, a kao sastojak se nalazi u drvu. U procesu proizvodnje postoji maksimalni dozvoljeni postotak dodatnih vezivnih sastojaka (2%) te spomenuti sastojci uglavnom služe za pojednostavljenje samog procesa prešanja te za kasnije održavanje čvrstoće peleta. Peleti imaju relativno visoku ogrjevnu vrijednost koja u prosjeku iznosi 17-20 kJ/kg ili 5 kWh/kg, [7].

Peletiranje se definira kao termoplastični proces oblikovanja istiskivanjem, prilikom kojeg se fino razdijeljene čestice brašnaste sirovine formiraju u kompaktne pelete, pogodne za rukovanje. Najveći značaj peletiranja biomase u proizvodnji energije je dobivanje proizvoda veće gustoće, bolje ogrjevne vrijednosti po jedinici volumena, što ima za posljedicu smanjenje troškova transporta i skladištenja.

Proces peletiranja biomase sastoji se od više faza: miješanje i homogeniziranje, kondicioniranje, peletiranje, sušenje i hlađenje, drobljenje.

U svrhu dobivanja boljih rezultata prilikom peletiranja, smjesa se ovlažuje parom i zagrijava u procesu kondicioniranja. Para se dodaje kondicioniranjem jer poboljšava proizvodnost, produžuje vijek trajanja matrice, smanjuje potrošnju energije te poboljšava kvalitetu peleta.

Najbolje se peletira smjesa koja sadrži 15-18% vlage, [8]. Dodana vlaga u obliku pare utječe na bolji raspored vezivnih elemenata u smjesi (aktivira vezivne elemente i podmazuje smjesu) i manji utrošak energije prilikom peletiranja. Prije nego dođu na uskladištenje i pakiranje u vreće, peleti moraju biti podvrgnute struji zraka 6-7 minuta. Veličina, odnosno debljina peleta definira vrijeme potrebno za njihovo zadržavanje u hladnjaku, a ohlađeni

peleti izlaze iz hladnjaka s temperaturom nižom za 12-15°C. Nakon procesa peletiranja, peleti se moraju hladiti, budući imaju visoku temperaturu (uobičajeno od 90 do 95°C) te samim time visoki stupanj lomljivosti. Postupkom hlađenja, peleti se stabiliziraju, otpornije su na lom i njihova manipulacija je olakšana. U toku hlađenja peleti izgube i nešto vlage, a obično sadržavaju više od 1% vlage nego smjesa prije kondicioniranja, [8].

Svaka od mnogih komponenti koje se upotrebljavaju u izradi peleta ima različito djelovanje na trajnost peleta.

Ukoliko je riječ o verziji za kućanstva, pelet se izrađuje promjera 6 mm dok je onaj za industrijske kotlove promjera 11 mm i dužine do 30 mm.



Slika 1: Peleti [11]



### 2.3. Ogrijevna vrijednost peleta

Ogrijevna je vrijednost goriva ona količina topline koja se dobije kad se jedinica količine (mase) goriva s potrebnim kisikom, sve na početnoj temperaturi 0 °C, zapali i potpuno izgori, a nastali se dimni plinovi ohlade opet na 0 °C predajući toplinu kalorimetrijska vodi, sve pri stalnom tlaku.

Gornja ogrijevna vrijednost goriva je toplina koja se dobije kad se jedinica količine (mase) goriva s potrebnim kisikom, sve na početnoj temperaturi 0 °C, zapali i potpuno izgori, a nastali se dimni plinovi, predajući toplinu kalorimetrijskoj vodi pri stalnom tlaku, ohlade opet na 0 °C, tako da sva para sadržana u dimnim plinovima potpuno kondenzira.

Donja ogrijevna vrijednost goriva je toplina koja se dobije kad se jedinica količine (mase) goriva s potrebnim kisikom, sve na početnoj temperaturi 0 °C, zapali i potpuno izgori, a nastali se dimni plinovi, predajući toplinu kalorimetrijskoj vodi pri stalnom tlaku, ohlade opet na 0 °C, tako da para sadržana u dimnim plinovima uopće ne kondenzira.

$$\Delta h_g = \Delta h_d + m_{H_2O} \cdot r_0 = \Delta h_d + n_{H_2O} \cdot 18 \cdot r_0 \quad \text{J/kg (po kilogramu goriva)}$$

Ogrijevna vrijednost se može približno izračunati iz sastava goriva prema slijedećoj formuli, [9]:

$$H_d = 338,11 \times C + 1195,54 \times (H - O/8) + 92,48 \times S - 25,1 (V_v + 9H) \quad \text{kJ/kg}$$

Dok se prava ogrijevna vrijednost dobiva kalorimetrijski.

## **2.4. Korištenje peleta**

Porastom cijena fosilnih goriva, primjena obnovljivih izvora energije dobiva na značaju u široj upotrebi. Dolazi do trendova povećanja upotrebe drvnih ostataka kao ekološkog i obnovljivog materijala. Upotreba peleta pokriva spektar domaćinstava i dakako industrije. Ukoliko se koriste u domaćinstvima, riječ je o upotrebi peleta kao goriva za peći odnosno grijanje, a mogućnost primjene je i u malim kotlovima stambenih zgrada te sustavima područnog grijanja ili termoelektranama.

Europski kontinent je najveći svjetski proizvođač i potrošač peleta. Tržište peleta u Europi se dijeli temeljem količinske proizvodnje, učestalosti korištenja i uređenja pravnog i zakonodavnog okvira vezanog za norme za drvena goriva na tržišta koja su dobro uređena odnosno ona sa velikom potrošnjom/primjenom peleta koja su manje više uređena, zatim na tržišta u razvoju te nerazvijena tržišta. Najrazvijenija europska tržišta peleta su u Švedskoj, Italiji, Njemačkoj, Nizozemskoj, Austriji, Belgiji i Danskoj, [3].

O hrvatskom tržištu peleta biti će riječi nešto više u daljnjem tekstu no potrebno je spomenuti da ono nije uvršteno niti na kartu novih tržišta. Drugim riječima, ono je iznimno malo i nerazvijeno, a najveći razlog leži u nepoticanju ovakve vrste proizvodnje i potrošnje. Potencijala za korištenje dakako ima a ono se ponajviše na domaćem tržištu dotiče institucija javnih uprava, škola, bolnica i sl. koje bi mogle iskoristiti priliku i kroz programe energetske učinkovitosti obnoviti i modernizirati kotlovnice zamjenjujući tako dosadašnje korištenje goriva sa drvnim peletima koji su osobito važni za ovu priču zbog svoje znatne ekonomske isplativosti. Veća primjena bi zasigurno stvorila i veću sigurnost i poticaj u odlučivanju privatnih kućanstava kao i realnog sektora na ovakav vid iskorištavanja energije.

### 3. Norme

Norme općenito, pa i kada se tiču drvnih goriva, postoje kako bi udovoljile sljedećim kriterijima:

- omogućile odabir drva primjerenog kotlu
- pomogle kupcima goriva da jasno oblikuju svoje zahtjeve
- pomogle dobavljačima da znaju što se traži i kako provjeriti da njihov proizvod zadovoljava te potrebe
- pomogle pri utvrđivanju problema
- spriječile ili pomogle u rješavanju sporova
- pružile povjerenje u rastuće tržište, [12].

Norme moraju biti jasno označene, a pored spomenutog potrebno je i osiguranje kvalitete goriva odnosno „fuel quality assurance” – FQA. 2001. Godine odbor za normizaciju (Comité Européen de Normalisation – CEN) izradio je norme za kruta biogoriva. Nakon toga je CEN osnovao Tehnički odbor 335 – Kruta goriva (TC/335), koji je zadužen za drvenu biomasu, uključujući drvo iz šuma, nasada i gospodarenje krajolikom. TC/335 je potom izradio skupinu međupovezanih tehničkih standarda (TS), kojima se utvrđuje terminologija, specifikacije, osiguranje kvalitete goriva (FQA), uzorkovanje i niz ispitivanja koja su potrebna za utvrđivanje svojstava goriva. Tijekom vremena su CEN-ovi tehnički standardi za kruta biogoriva revidirani i pretočeni u euronorme (EN), koje su zamijenile sve ostale nacionalne norme na razini Europske unije (npr. ONORM i DIN). One se također koriste kao temelj novih ISO normi (ISO/TC 238), [12].

Pored normi, važne su informacije koje kazuju o kvaliteti drva za drveno gorivo poput samog porijekla, sadržaju vlage, veličini čestica itd.

#### 3.1. Domaće norme za pelete

Ukupna površina šuma i šumskih zemljišta u RH iznosi 2, 688. 687 ha što je 47% kopnene površine države. Od toga je 2, 106. 917 ha u vlasništvu RH, dok je 581 770 ha u vlasništvu privatnih šumoposjednika. Glavnom šuma u vlasništvu države gospodare Hrvatske šume (2, 018.987 ha).

Osim po vlasništvu, šume razvrstavamo i prema njihovoj namjeni. Prema Zakonu o šumama šume po namjeni mogu biti gospodarske, zaštitne i šume s posebnom namjenom.

- GOSPODARSKE – uz očuvanje i i unapređenje njihovih općekorisnih funkcija koriste se za proizvodnju šumskih proizvoda
- ZAŠTITNE – u prvom redu služe za zaštitu zemljišta, voda, naselja, objekata i druge imovine
- ŠUME S POSEBNOM NAMJENOM – zaštićeni dijelovi prirode (strogi rezervati, nacionalni parkovi, posebni rezervati, spomenici prirode, značajni krajobrazi, park-šume), šume i dijelovi šuma registrirani za proizvodnju šumskog sjemena (sjemenske sastojine), šume namijenjene znanstvenim istraživanjima, šume za potrebe obrane RH, [12].

Hrvatske šume također su pod primjenom programa certifikata FSC (Forest Stewardship Council) koji osigurava ekološko i ekonomsko održivo gospodarenje šumama putem općih standarda. Ovaj certifikat je iznimno važan jer pomoću njega hrvatski drvni izvozni proizvodi imaju osiguran pristup međunarodnim tržištima, [13].

Tablica 1: Veličina komada drvnih sječki prema HRN EN 15149-1 [13]

Dimenzije HRN EN 15149-1			
Klasa P	Minimalno 75 w-% u glavnom dijelu, mm <sup>a</sup>	Fini dijelovi, w-% (postotak težine) (<3,15 mm)	Grubi dijelovi (w-%) maksimalna duljina materijala, mm, maksimalna površina poprečnog presjeka (cm <sup>2</sup> )
P15A	$3,15 \leq P \leq 16$ mm	$\leq 12\%$	$\leq 3\% > 16$ mm i svi $< 31,5$ mm Površina poprečnog presjeka prevelikih komada $< 1\text{cm}^2$
P16B	$3,15 \leq P \leq 16$ mm	$\leq 12\%$	$\leq 3\% > 45$ mm i svi $< 120$ mm Površina poprečnog presjeka prevelikih komada $< 1\text{cm}^2$
P31,5	$8 \leq P \leq 31,5$ mm	$\leq 8\%$	$\leq 6\% > 45$ mm i svi $< 120$ mm Površina poprečnog presjeka prevelikih komada $< 2\text{cm}^2$
P45A	$8 \leq P \leq 45$ mm	$\leq 8\%$	$\leq 6\% > 63$ mm i maksimalno $3,5\% > 100$ mm i svi $< 120$ mm Površina poprečnog presjeka prevelikih komada $< 5\text{cm}^2$
<sup>a</sup> Numeričke vrijednosti (klasa P) za dimenzije odnose se na veličinu materijala (najmanje 75 w-%), koji prolazi kroz navedenu okruglu rupu veličine sita.			

### 3.2. Europske norme za pelete

CEN/TC 335 tehnički odbor je imao za cilj razviti nacrt normi za opisivanje svih oblika čvrstih biogoriva u Europi:

- drvne sječke
- peleta
- briketa
- cjepanog drva
- piljevine
- balirane slame
- kore
- ostataka u proizvodnji maslina
- koštice voćaka
- ostalo

Donesene norme predstavljaju specifikacije za goriva od biomase i to na način da se predstavlja, [14]:

- podrijetlo odnosno izvor sirovog drva

Tablica 2: Glavne trenutno važeće oznake [14]

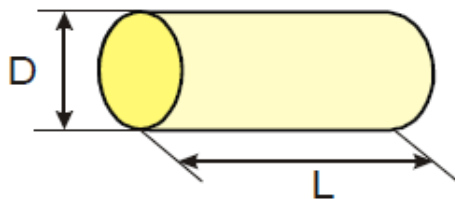
1. Drvna biomasa	1.1 Šuma, nasad ili druga prašuma		1.1.1.1 Bjelogorica 1.1.1.2 Crnogorica
		1.1.1 Čitava stabla bez korijenja	1.1.1.3 Kulture kratkih ophodnji 1.1.1.4 Grmlje 1.1.1.5 Mješavine
		1.1.3 Debla	1.1.3.1 Bjelogorica 1.1.3.2 Crnogorica 1.1.3.3 Mješavina
		1.1.7 Prosječno drvo iz vrtova, parkova, održavanja uz cestu, vinograda i voćnjaka	

- oblik kojime se trguje misleći pritom na drvenu sječku, peletu, briketu ili drvo za ogrjev
- svojstva redom
- distribucija veličine čestica, npr. P45
- sadržaj vlage, npr. M30
- sadržaj pepela, npr. A1.5

Europska norma za pelete EN 14961-1

#### Porijeklo:

- drvena biomasa 1
- biljna biomasa 2
- voćna biomasa 3
- mješavine 4



#### Dimenzije

promjer (D) dužina (L)

- $D06 \leq 6 \pm 1,0 \text{ mm}$        $3,15 \leq L \leq 40 \text{ mm}$  (95 w-%)
- $D08 \leq 8 \pm 1,0 \text{ mm}$        $3,15 \leq L \leq 40 \text{ mm}$  (95 w-%)
- $D10 \leq 10 \pm 1,0 \text{ mm}$        $3,15 \leq L \leq 40 \text{ mm}$  (95 w-%)
- $D12 \leq 12 \pm 1,0 \text{ mm}$        $3,15 \leq L \leq 50 \text{ mm}$  (95 w-%)
- $D25 \leq 25 \pm 1,0 \text{ mm}$        $10 \leq L \leq 50 \text{ mm}$  (95 w-%)

Maksimalna duljina peleta: 45 mm u klasi D06, D08 i D10 (< 5 w-%)



### Vlaga (M)

- $M_{10} \leq 10 \%$
- $M_{15} \leq 15 \%$

### Udio pepela (A)

- $A_{0.5} \leq 0.5 \%$  suhe tvari
- $A_{0.7} \leq 0.7 \%$  suhe tvari
- $A_{1.0} \leq 1.0 \%$  suhe tvari
- $A_{1.5} \leq 1.5 \%$  suhe tvari
- $A_{3.0} \leq 3.0 \%$  suhe tvari
- $A_{5.0} \leq 5.0 \%$  suhe tvari
- $A_{7.0} \leq 7.0 \%$  suhe tvari
- $A_{10.0} \leq 10.0 \%$  suhe tvari
- $A_{10.0+} > 10.0 \%$  suhe tvari

### Usitnjenost pri pakiranju (F)

- Usitnjenost (Fines)  $< 3,15 \text{ mm}$
- $F_{1.0} \leq 1,0 \text{ w-\%}$
- $F_{2.0} \leq 2,0 \text{ w-\%}$
- $F_{3.0} \leq 3,0 \text{ w-\%}$
- $F_{5.0} \leq 5,0 \text{ w-\%}$
- $F_{5.0+} > 5,0 \text{ w-\%}$

### Mehanička izdržljivost (DU)

- $DU_{97.5} \geq 97.5 \%$  peleta nakon testiranja
- $DU_{96.5} \geq 96.5 \%$  peleta nakon testiranja
- $DU_{95.0} \geq 95.0 \%$  peleta nakon testiranja
- $DU_{95.0-} < 95.0 \%$  peleta nakon testiranja

Sljedeći podaci su samo preporuka i nemaju obvezujući karakter:

Sumpor (S)- normativ samo za kemijski tretirane biomase

- $S0.02 \leq 0.02$  w-% suhe tvari
- $S0.05 \leq 0.05$  w-% suhe tvari
- $S0.08 \leq 0.08$  w-% suhe tvari
- $S0.10 \leq 0.10$  w-% suhe tvari
- $S0.20 \leq 0.20$  w-% suhe tvari
- $S0.20+ > 0.20$  w-% suhe tvari

Dušik (N)


Dušik- normativ samo za kemijski tretirane biomase

- $N0.3 \leq 0.3$  w-% suhe tvari
- $N0.5 \leq 0.5$  w-% suhe tvari
- $N1.0 \leq 1.0$  w-% suhe tvari
- $N2.0 \leq 2.0$  w-% suhe tvari
- $N3.0 \leq 3.0$  w-% suhe tvari
- $N3.0+ > 3.0$  % w-% suhe tvari

Klor (Cl)

Klor- normativ samo za kemijski tretirane biomase

- $Cl\ 0.02 < 0.02$  w-% suhe tvari
- $Cl\ 0.03 < 0.03$  w-% suhe tvari
- $Cl\ 0.07 < 0.07$  w-% suhe tvari
- $Cl\ 0.10 < 0.10$  w-% suhe tvari
- $Cl\ 0.10+ > 0.10$  w-% suhe tvari

 <b>Wood pellets</b>	<b>Producer</b>	EAA Biofuels P.O. Box 1603, FI-40101 Jyväskylä Tel. +358 20722 2550
	<b>Origin:</b>	1.2.1.2 Coniferous wood without bark
	<b>Traded Form:</b>	Pellets – Class A1
	<b>Country of origin</b>	Jyväskylä, Finland
	<b>Normative (EN 14961- 2)</b>	
	<b>Dimensions</b>	
	Diameter (D), length (L)	D08 (D= $8\pm 1$ mm, and $3,15 \leq L \leq 40$ (95%) Maximum 45 mm
	<b>Moisture</b> (w-% as received)	M10 ( $\leq 10$ %)
	<b>Ash</b> (w-% of dry basis)	A0.7 $\leq 0,7\%$
	<b>Mechanical durability</b> (w-% of pellets after testing)	DU97,5 $\leq 97,5\%$
	<b>Amount of fines</b> (w-%, < 3.15 mm)	F1.0 $\leq 1\%$
	<b>Net calorific value, Q</b>	Q $\geq 4,7$ kWh/kg
	<b>Additives</b> (w-% of pressing mass)	Starch < 1 w-%
	<b>Bulk density as received (kg/m<sup>3</sup>)</b>	DB600 $\geq 600$ kg/m <sup>3</sup>
	<b>Chemical composition (w-% dry basis)</b>	N0,3, S0,05, Cl0,02
	<b>Ash melting behaviour, (DT °C)</b>	$\geq 1\ 200$
	<b>Minor elements (mg/kg dry basis)</b>	As 1, Cd 0,5, Cr 10, Cu 10, Pb 10, Hg 0.05, Ni 10, Zn 100

Slika 2: Primjer deklaracije za pelete [16]

Primjer deklaracije za pelete donosi sljedeće elemente: producer- proizvođač, origin- porijeklo, traded form- vrsta proizvoda, country of origin- zemlja porijekla, dimensions- dimenzije, moisture- vlaga, ash- pepeo, mechanical durability- mehanička izdržljivost, amount of fines- usitnjenost, net calorific value- donja ogrjevna vrijednost, bulk density- nasipna gustoća, chemical composition- kemijski sastav, ash melting behaviour- režim taljenja pepela, minor elements- elementi s manjim udjelom.

## **4. Opća upotreba peleta**

Biomasu je moguće koristiti u energetske svrhe i to za proizvodnju toplinske ili električne energije u toplanama i termoelektranama. Također se može koristiti u kućanstvima te industriji putem centraliziranih toplinskih sustava i automatiziranih peći. Moguća je primjena i kod grijanja komunalnih objekata kao što su škole, vrtići i bolnice što predstavlja zapravo i najveću vrijednost u uštedi gradova i općina. Osim spomenutog, opće upotreba peleta ogleda se i u industriji.

Korištenje ovog obnovljivog izvora energije ima iznimne prednosti u odnosu na ostala goriva, posebice naftu i naftne prerađevine. Korištenje biomase u energetske svrhe ima svoje ekološke, ekonomske i socijalne temelje ili jednostavnije rečeno, emisija štetnih plinova svrstava biomasu u neutralno gorivo dok s ekonomskog gledišta povećana upotreba biomase smanjuje potrebu o uvozu fosilnih goriva. Socijalni aspekti očituju se u otvaranju novih radnih mjesta koje bi generirale nove tvornice za proizvodnju biomase obzirom da je potražnja itekako veća od ponude.

### **4.1. Upotreba peleta u industriji**

Kada govorimo o industrijskoj, masovnijoj uporabi peleta i ta priča kreće od sustava centralnog grijanja gdje nalazi svoju primjenu. Peleti se sve više koriste u većim kotlovnicama na biomasu (instalirane snage >30 kW). Austrija je samo u 2005. godini 50 tisuća tona industrijskih peleta prodala energetskim postrojenjima u Nizozemskoj. Osim toga, Gornja Austrija se ubrzano približava udjelu od 80% električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora, u čemu biomasa ima najznačajniju ulogu, [19].

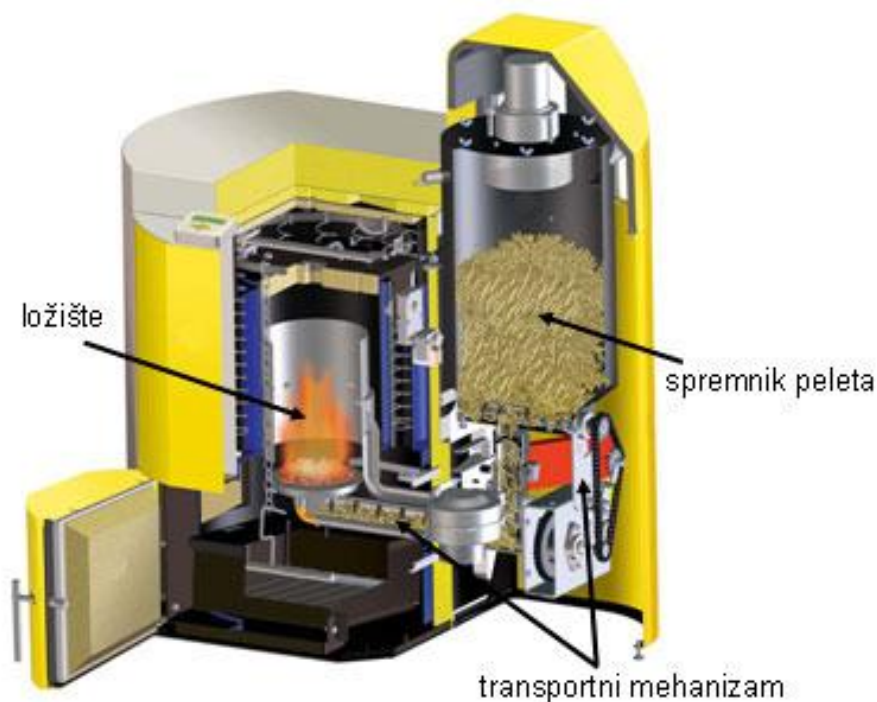
### **4.2. Upotreba peleta za ne-industrijske potrebe**

Najraširenija primjena peleta za neindustrijske potrebe je u kućanstvima. Kako je riječ o obnovljivom izvoru energije visoke vrijednosti koji dostiže cijenu i do 45% jeftiniju od loživog ulja, uz veliku sigurnost nabave, jasne su prednosti na strani ovog energenta. Ovisno o tome želi li se adaptirati postojeća peć, primjerice na loživo ulje, ili kupiti nova, cijene se kreću od oko 8000 do 25.000 kuna, a kad je u pitanju potrošnja peleta, 2 kg peleta (3,2 kn) ima energetske vrijednosti kao litra loživog ulja (6,85 kn), 1,85 kg (2,96 kn) zamjenjuje jedan prostorni metar plina (3,86 kn), a 1,6 kg (2,58 kn) energetske vrijednosti 2 kg ogrjevnog drva

(2 kn). Uz brojne prednosti u odnosu na fosilna goriva, pelet osigurava jeftin, ekološki i praktičan oblik grijanja stambenog prostora i tople vode, [19].

Kućanstva koriste ovaj način grijanja putem peći odnosno kotlova za pelete. Kako sami peleti u odnosu na ostalu drvenu masu imaju najvišu ogrjevnju vrijednost vrlo nisku vlažnost od tek maksimalnih 10 %, prilikom procesa izgaranja dolazi do razvijanja iznimno visoke temperature. Iz spomenutog razloga pelete nije moguće koristiti u svim kotlovima za centralno grijanje te su potrebni kotlovi odnosno peći za kućanstva s posebnom namjenom za pelete.

Velika je prednost automatizacija peći pa nije potrebno ručno ubacivanje peleta. Priprema grijanja teče tako što se u spremnik napune peleti, odredi tražena temperatura prostorije nakon čega peć započinje programski rad. Temperatura se održava konstantnom tako što ogrjev automatski dolazi iz spremnika.



Slika 3: Peć na pelete [20]

### **4.3. Tržište peleta u Republici Hrvatskoj**

U Austriji, regiji oko Salzburga, zbog intenzivnog programa promicanja obnovljivih izvora energija, svaka druga novoizgrađena kuća grije se na pelete, [18]. Upravo ovako ne izgleda hrvatsko tržište peleta.

Iako u Hrvatskoj više od polovice kućanstava koristi ogrjevna drva, upotreba peleta još je uvijek zanemariva. Razlog tomu djelomično leži u činjenici da od strane države ne postoji politika poticaja za korištenje obnovljivih izvora energije kao što je to recimo slučaj u nekim drugim europskim zemljama. Nepoticanjem korištenja energije ovog tipa i kućanstva ostaju skeptična i često ostaju spregnuta početnim novčanim ulaganjem koje ovakav način grijanja primjerice zahtijeva.

98% peleta proizvedenih na hrvatskom tržištu se izvozi, [20]. Mahom je riječ o izvozu u Italiju i Austriju koja predstavljaju visoko razvijena tržišta upotrebe obnovljivih izvora energija a pogotovo peleta. Zaleđe ovom izvoznom poslu svakako je dobro razvijena šumska i drvena industrije u Republici Hrvatskoj. Iako su brojke još uvijek poražavajuće, perspektiva postoji s obzirom na inicijative Europske unije u smjeru ulaganja i poticaja u korištenje obnovljivih izvora energije pa tako i peleta a uz to i izniman „know-how“ iz zemalja u okruženju koje ovakve programe provode već dvadesetak godina.

Tijekom izrade ovog završnog rada nabavljeni su uzorci hrvatskih i stranih proizvođača peleta te su u Laboratoriju za vodu, gorivo i mazivo određeni neki od osnovnih parametara karakterističnih za pelete:

- ogrjevna vrijednost
- sadržaj pepela
- vlaga
- nasipna gustoća.

Rezultati laboratorijskih mjerenja navedeni su u Prilogu.



#### 4.4. Peleti i njihov utjecaj na okoliš

Republika Hrvatska danas troši energije u vrijednosti od 395,94 PJ. Od toga, uvozna energetska ovisnost Republike Hrvatske iznosi 46%, pri čemu je uvozna bilanca sljedeća: 77% nafte, 100% ugljena, 25% prirodnog plina te 20% električne energije. Nadalje, od ukupno potrošene energije u Republici Hrvatskoj, najviše se potroši tekućih goriva (49%), prirodnog plina (25%), vodne snage (12%), ugljena (7%), ogrjevnog drva (4%), električne energije (3%). Biomasa je izvor energije kojim se mogu zamijeniti fosilna goriva, a može poslužiti i kao skladište ugljika. Uloga biomase je prije svega u smanjenju stakleničkih plinova. Naime, opterećivanje atmosfere s ugljičnim dioksidom pri izgaranju biomase kao goriva je zanemarivo, budući da je količina emitiranog ugljičnog dioksida prilikom izgaranja jednaka količini apsorbiranog ugljičnog dioksida tijekom rasta biljke. Biomasa, kao i njezini produkti, nije samo potencijalno obnovljiva nego i dovoljno slična fosilnim gorivima da je moguća izravna zamjena, uzimajući u obzir da je Republika Hrvatska zemlja s izrazito velikim potencijalom biomase za proizvodnju energije (oko 4 milijuna tona godišnje, trenutno dostupnih), [20].

Biomasa je vrlo prihvatljivo gorivo s gledišta utjecaja na okoliš jer sadrži vrlo malo ili čak uopće ne sadrži brojne štetne tvari – sumpor, teške kovine i sl., koje se nalaze u fosilnim gorivima, a koje se njihovim izgaranjem emitiraju u zrak te ugrožavaju naše zdravlje i okoliš. Glavna prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je njena obnovljivost. Računa se da je opterećenje atmosfere s CO<sub>2</sub> pri korištenju biomase kao goriva zanemarivo, budući da je količina emitiranog CO<sub>2</sub> prilikom izgaranja jednaka količini apsorbiranog CO<sub>2</sub> tijekom rasta biljke.

Izgaranje drva je gotovo CO<sub>2</sub> neutralno. CO<sub>2</sub> (ugljični dioksid) je jedan od sastojaka koji je odgovaran za globalno zatopljenje (efekt staklenika) i klimatske promjene koje doživljavamo svakodnevno, što je istina koju opovrgava sve manje svjetskih stručnjaka. Efekt staklenika nastao je zato što su se u posljednjih 50 do 100 godina jako puno za ogrjev i industriju koristili ugljen, ulje i plin. Ovi energenti nastali su od biljaka koje su rasle milijunima godina. Što je vrijedno znati: biljke kod rasta uzimaju CO<sub>2</sub> iz atmosfere. Ovaj „C“ (ugljik) iz CO<sub>2</sub> koriste za izgradnju vlastitog tijela, naprimjer stabljiku i grane drveta dok „O<sub>2</sub>“ (kisik) iz CO<sub>2</sub> vraćaju nazad u atmosferu. Ljudi i životinje koriste kisik za disanje a vraćaju potrošeni kisik u obliku CO<sub>2</sub> ponovno na izdisaju u atmosferu. Jedan vrlo jednostavan životni ciklus. Jedinu grešku koju čovjek trenutno radi je velika potrošnja ugljena,

ulja i plina koja traje već desetljećima zbog teške industrije. Milijunima godina biljke mogu iskoristavati CO<sub>2</sub> koji se nalazi u pretjeranim količinama u atmosferi. Posljedica: sadržaj CO<sub>2</sub> u atmosferi konstantno raste što za posljedicu ima efekt staklenika. Korištenjem drva kao ogrjevnog energenta, postoji mogućnost rješavanja ove dileme. Drvo stabala koja mi danas koristimo kao ogrjev, tek su u prošlih 20 do 30 godina koristila CO<sub>2</sub> koji smo proizveli (a ne prije 20 do 30 milijuna godina). Kod sagorijevanja drva ista ta količina CO<sub>2</sub> ponovo se oslobađa, upravo zbog toga se i govori o CO<sub>2</sub> neutralnosti. Osim toga za proizvodnju peleta koristi se isključivo otpadno drvo, [21].

## 5. Zaključak

Iako trenutno imamo nepovoljnu situaciju na domaćem tržištu peleta, ipak se očekuje svjetlija budućnost. Okretanje stanovništva obnovljivim izvorima energije koji su ekološki prihvatljivi uz znatnu ekonomsku uštedu, pitanje je vremena. Najveći nedostatak leži u nepoticanju industrijske i ne-industrijske upotrebe peleta za razliku od ostataka Europe u kojoj se potiče ulaganje u sustave grijanja na pelete.

Hrvatska ima dugu tradiciju iskorištavanja šuma, drva i drvnih preradevina. Trenutno postoji samo nekoliko proizvođača koji se bave proizvodnjom peleta a tek je nezamjetna brojka onih koji ih koriste za kućni ogrjev ili u proizvodnji/industriji. Skoro 98% peleta proizvedenih u Hrvatskoj je namijenjeno izvozu što znači da u našem okruženju postoje zemlje koje imaju „know-how“ sustav koje su primijenile na domicilnim tržištima te ona svakako predstavljaju platforme za preuzimanje dobre prakse. Uloga države ovdje ostaje poticanje korištenja energije dobivene iz obnovljivih izvora.

Prednosti korištenja peleta su osim onih ranije navedenih svakako i generiranje novih radnih mjesta. Potrebe Europe su velike i rastu vrtoglavo brzom iz godine u godinu a trenutno nisu zadovoljene stoga je perspektiva peleta prisutna na mnogostrukim nivoima. Biomasa je vrlo prihvatljivo gorivo s gledišta utjecaja na okoliš jer sadrži vrlo malo ili čak uopće ne sadrži brojne štetne tvari – sumpor, teške kovine i sl., koje se nalaze u fosilnim gorivima, a koje se njihovim izgaranjem emitiraju u zrak te ugrožavaju naše zdravlje i okoliš. Glavna prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je njena obnovljivost te s time povezan manji štetni utjecaj na okoliš u odnosu na fosilna goriva. Računa se da je opterećenje atmosfere s CO<sub>2</sub> pri korištenju biomase kao goriva zanemarivo, ako je stvaranje biomase provedeno po principima održivosti, budući da je količina emitiranog CO<sub>2</sub> prilikom izgaranja jednaka količini apsorbiranog CO<sub>2</sub> tijekom rasta biljke.

Dostupni pelti, pronađeni na tržištu, proizvedeni u Hrvatskoj i Italiji, koji su i korišteni u ovom radu odgovarali su zadanoj europskoj normi EN 14961-1, koja je objašnjena temeljito u poglavlju 3.2. Usporedbom normi i rezultata dobivenih mjerenjem u Laboratoriju fakulteta strojarstva i brodogradnje utvrđeno je da u slučajnom odabiru peleta na tržištu Republike Hrvatske odgovaraju porijeklom, dimenzijama, vlagom i udjelom pepelazahtjevima navedenih normi.

## Literatura

1. Miller G., (1996.), Living in the environment: principles, connections, and solutions, Wadsworth Publishing Company, California, USA
2. <http://www.mcsolar.hr/kotlovi-pelet.php>
3. Boromisa, A., Tišma, S., (2012.), Mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energija i Energetska učinkovitost na razini gradova i općina, Institut za međunarodne odnose Hanns-Seidelstiftung, Zagreb, str.14
4. Granada, E., Lareo, G., Miguez, J.L., Moran, J., Porteiro, J., Ortiz, L., (2006), Feasibility study of forest residue use as fuel through co-firing with pellet, Biomass and Bioenergy 30, str.238
5. Miller G., (1996.), Living in the environment: principles, connections, and solutions, Wadsworth Publishing Company, California, USA
6. Domac, J., Benković, Z., Šegon, V., Ištok, I., (2011.), Kritični čimbenici u razvoju domaćeg tržišta peleta, Šumarski list br.5-6, CXXXV, 1-3
7. Obernberger, I., Thek, G., (2010.), The pellet handbook, The production and thermal utilisation of biomass pellets, Earthscan, str.19
8. Krička, T., (2010.), Završno izvješće- Potencijal proizvodnje energije iz biljnih ostataka u poljoprivredi i šumarstvu, Zagreb, Agronomski fakultet, str.3
9. Halasz, B., (2012.), uvod u termodinamiku, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta Zagreb
10. Podloge za laboratorijske vježbe, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta Zagreb, Zavod za energetiku, energetska postrojenja i ekologiju, Katedra za inženjerstvo vode i okoliša
11. <http://www.mcsolar.hr/kotlovi-pelet.php>
12. Zečić, Ž., Europski standardi za drvene sortimente, Nove hrvatske norme HRN EN, HZN/TO 238 čvrsta biogoriva
13. Woodheat Solutions, Uvod u standarde za drvena goriva
14. Pellet@las project final workshop Bryssels, Belgium, 18.11.2009: European standards for solid biofuels
15. Primjer deklaracije za pelete, prema Pellet@las project final workshop Bryssels, Belgium, 18.11.2009: European standards for solid biofuels
16. Domac, J., Benković, Z., Šegon, V., Ištok, I., (2011.), Kritični čimbenici u razvoju domaćeg tržišta peleta, Šumarski list br.5-6, CXXXV, 1-3

17. <http://www.mcsolar.hr/kotlovi-pelet.php>
18. Boromisa, A., Tišma, S., (2012.), Mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energija i Energetska učinkovitost na razini gradova i općina, Institut za međunarodne odnose Hanns-Seidelstiftung, Zagreb, str. 38
19. Domac, J., Benković, Z., Šegon, V., Ištok, I., (2011.), Kritični čimbenici u razvoju domaćeg tržišta peleta, Šumarski list br.5-6, CXXXV, 1-3
20. Krička, T., (2010.), Završno izvješće- Potencijal proizvodnje energije iz biljnih ostataka u poljoprivredi i šumarstvu, Zagreb, Agronomski fakultet, str.2
21. Sultana,A., Kumar,A., (2012.), Ranking of biomass pellets by integration of economic, environmental and technical factors, biomass and bioenergy 39, 344 e355

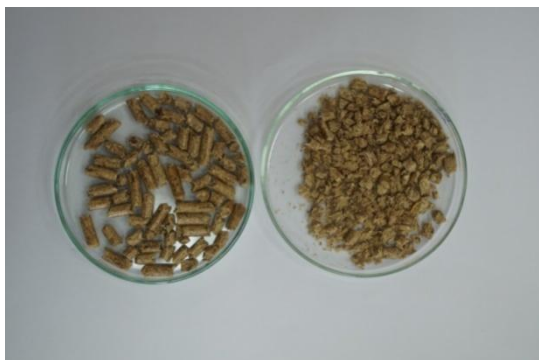
## Rezultati laboratorijskih ispitivanja

### Prilog 1

#### Sušenje uzoraka- određivanje vlage

➤ Postupak:

Označene petrijeve posude su odvagane te su zabilježene njihove mase bez uzoraka. Zatim su odvagane petrijeve posude s uzorkom te zapisane mase. Od iste grupe uzoraka jedni peleti su smrvljeni dok su drugi ostali u izvornom obliku kako ih izdaje proizvođač. Ukupno je ostalo šest uzoraka gdje A uzorci predstavljaju jednu vrstu peleta, dvije petrijeve posude, u jednoj smrvljeni a u drugoj cijeli peleti te isto tako i za B i C uzorke od kojih svaki predstavljaju drugačije vrste peleta. Sve posude su držane u pećnici 3h na temperaturi od 105°C te nakon toga su svi uzorci stavljeni u eksikator (posuda u kojoj se nalazi silika-gel koji iz zraka navlači vlagu na sebe). U eksikatoru su posude s uzorcima držane sve do trenutka hlađenja, oko 1 h nakon čega su izvagane te su im zapisane mase. Dobivena razlika u masi predstavlja vlagu u peletima.



Slika 4: Uzorci peleta



Slika 5: Postupak vaganja peleta



Tablica 3: Prikaz masa uzoraka

Uzorak „A1“- cijeli pelet		Nakon sušenja	
masa prazne posude	60,62090 g		
masa posude i uzorka	81,09444 g	masa posude i uzorka	79,89910 g
masa uzorka 1	20,47354 g	masa uzorka 2	19,80466 g
		postotak vlage	3,26%

Uzorak „B1“- cijeli pelet		Nakon sušenja	
masa prazne posude	59,79863 g		
masa posude i uzorka	80,11432 g	masa posude i uzorka	78,93555 g
masa uzorka	20,31569 g	masa uzorka	19,13692 g
		postotak vlage	5,80%

Uzorak „C1“- cijeli pelet		Nakon sušenja	
masa prazne posude	66,73490 g		
masa posude i uzorka	76,84215 g	masa posude i uzorka	76,17505 g
masa uzorka	10,10725 g	masa uzorka	9,44015 g
		postotak vlage	6,60%

Uzorak „A2“ - smrvljeni pelet		Nakon sušenja	
masa prazne posude	44,56164 g		
masa posude i uzorka	55,14250 g	masa posude i uzorka	54,50355 g
masa uzorka 1	10,10725 g	masa uzorka 2	9,94191 g
		postotak vlage	6,60%

Uzorak „B2“ - smrvljeni pelet		Nakon sušenja	
masa prazne posude	61,24000 g		
masa posude i uzorka	70,71810 g	masa posude i uzorka	70,17510 g
masa uzorka	9,47810 g	masa uzorka	8,93510 g
		postotak vlage	5,72%

Uzorak „C2“ - smrvljeni pelet		Nakon sušenja	
masa prazne posude	47,83628 g		
masa posude i uzorka	53,42210 g	masa posude i uzorka	53,02740 g
masa uzorka	5,8582 g	masa uzorka	5,19112 g
		postotak vlage	11,38%

## Prilog 2

### Određivanje ogrjevnog vrijednosti peleta

#### Najprije je potrebno odrediti tzv. Vodenu vrijednost kalorimetra

##### ➤ **Određivanje vodene vrijednosti kalorimetra (C) (energy content, Wärmekapazität)**

Toplinski kapacitet C kalorimetarskog sustava je količina topline koje je potrebna za porast temperature mjernog sustava za 1 K. Toplinski kapacitet kalorimetarskog sustava koji je potreban za izračunavanje sljedećih analiza, mora se odrediti pod istim uvjetima koji prevladavaju u testovima spaljivanja standardne tvari poznate ukupne kaloričke vrijednosti (obično se benzojeva kiselina upotrebljava za tu svrhu).

$$C = \frac{H_g \times m_B + Q_F}{\Delta T} \quad (\text{J/K}) \quad (1)$$

Gdje je :

$H_g$  (J/K)      ukupna kalorička vrijednost standardne tvari

$m_B$  (g)      masa uzorka odvagana u zraku

$Q_F$  (J)      zbroj svih količina vanjske topline koje ne potječe od sagorijevanja standardne tvari (npr. Energija paljenja, pomagala za paljenje, kemijske reakcije)

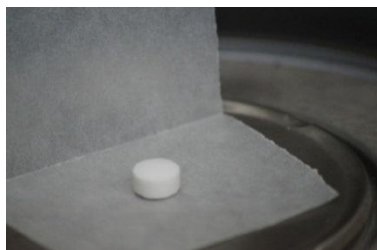
$\Delta T$  (K)      temperaturni porast mjeren u kalorimetarskom sustavu.

Ogrjevna vrijednost je toplina oslobođena pri izgaranju goriva sa kisikom pod standardnim uvjetima. Kemijska reakcija je obično između ugljikovodika i kisika, a kao rezultat dobivamo ugljikov dioksid, vodu i toplinu. Jedinice mogu biti: J/mol, J/kg, J/m<sup>3</sup>. Ogrjevna vrijednost se mjeri sa kalorimetrom.

Tablica 4: Parametri

Parametri			
Datum	07.05.2013.	Datum	08.05.2013.
Temperatura	23,5°C	Temperatura	
Tlak zraka	1035 hPa	Tlak zraka	1045 hPa
Vlaga	80%	Vlaga	75%

VVK se određuje pomoću benzojeve kiseline koja je čista tvar poznate ogrjevne vrijednosti. Benzojeva kiselina je tabletirana te dolazi kao standard proizvođača -priprema kalorimetrijske bombe.



Slika 6: Benzojeva kiselina



Slika 7: Bomba



Slika 8: Vezanje žice

Između dvije elektrode bombe se veže žica čistog nikla koja svaka ima točnu izračunatu ogrjevnu vrijednost od 30 J. Na tu žicu od čistog nikala se privezuje špaga od čistog pamuka koja ima ogrjevnu vrijednost od 50 J te to zajedno standardizirano za kalorimetar dodaje bombi sveukupnih dodatnih 80 J energije (Q).

Nakon toga se u lončić stavi benzojeva kiselina i poveze pamučnim končićem te tako sve zajedno stavi u bombu. Zatim se bomba priključuje na bocu kisika i natlači na 30 bara čistog kisika. Kalorimetrijska bomba se stavlja u unutarnju posudu kalorimetra u kojoj se nalazi 1800 g vode prethodno temperirane na 25 °C. Kalorimetar se stavlja u pogon spuštanjem poklopca. Na poklopcu se nalaze precizni termometri (osjetljivosti 0.001K) i mješalica. Na poklopcu se također nalaze elektrode koje prenose struju na unutrašnjost bombe. Kad se temperatura kalorimetra ustabilila kalorimetar nam daje signal za početak mjerenja. Zapisujemo vrijednost koju je kalorimetar ispisao na displeju kalorimetra te pritisćemo gumb

za puštanje struje kroz elektrode te time palimo niklovu žicu, pamučni končić, a time i benzojevu kiselinu kao uzorak koja počinje izgarati.

Kada nam kalorimetar da završni signal da je izgaranje završilo, a temperature se ustabilile zapisujemo mjereni porast temperature. Toplinska mjernost kalorimetra se preračunava preko formule, (1).



Slika 9: Kalorimetar u radu (32)

Kalorimetrija peleta- postupak:

Toplinski kapacitet kalorimetra

Spaljivanje uzorka peleta:

Postupak je jednak kao i kod umjeravanja kalorimetra, a jedina razlika je što u kalorimetarsku bombu u lončić se stavlja prethodno izmjereni uzorak peleta. Kad se dobije  $\Delta T$  za svaki izmjereni uzorak peleta, indicira se ukupna ogrjevnost energetska vrijednost.

$$H = \frac{c \times \Delta T - Q}{m}$$

$$c = \frac{H \times m + Q}{\Delta T} = \frac{(26456 \times 0,5152) + 80}{1,712} = 9288,707$$

Za daljnje proračune pretpostavlja se srednja vrijednost sadržaja vodika u peletima 6,0%.

Uzorak „A1“

$$C = 9288,707 \text{ J/K} \quad \Delta T = T_k - T_s = 1,950 - 0,9485 = 1,0015 \text{ K}$$

$$Q = 80 \text{ J} \quad T_s = 0,9485$$

$$m = 0,48625 \text{ g} \quad T_k = 1,950$$

$$H_g = \frac{c \times \Delta T - Q}{m} = \frac{(9288,707 \times 1,0015) - 80}{0,48625} = 18966,869$$

$$H_d = H_g - 25,1 (V_v + 9 H) = 18966 - 25,1(3,26 + 9 \times 6) = 18966,869 - 1437,226 = 17529,643 \text{ kJ/kg.}$$

Uzorak „A2“

$$C = 9288,707 \text{ J/K} \quad \Delta T = T_k - T_s = 1,613 - 0,567 = 1,046 \text{ K}$$

$$Q = 80 \text{ J} \quad T_s = 0,567$$

$$m = 0,50192 \text{ g} \quad T_k = 1,613$$

$$H_g = \frac{c \times \Delta T - Q}{m} = \frac{(9288,707 \times 1,046) - 80}{0,50192} = 19198,253$$

$$H_d = H_g - 25,1 (V_v + 9 H) = 19198 - 25,1(6,6 + 9 \times 6) = 17676,94 \text{ kJ/kg}$$



Uzorak „A3“

$$C = 9288,707 \text{ J/K}$$

$$\Delta T = T_k - T_s = 1,014 - (-0,013) = 1,027 \text{ K}$$

$$Q = 80 \text{ J}$$

$$T_s = -0,013$$

$$m = 0,49008 \text{ g}$$

$$T_k = 1,014$$

$$H_g = \frac{c \times \Delta T - Q}{m} = \frac{(9288,707 \times 1,027) - 80}{0,49008} = 19301,954$$

Uzorak „B1“

$$C = 9288,707 \text{ J/K}$$

$$\Delta T = T_k - T_s = 1,697 - 0,698 = 0,999 \text{ K}$$

$$Q = 80 \text{ J}$$

$$T_s = 0,698$$

$$m = 0,48921 \text{ g}$$

$$T_k = 1,697$$

$$H_g = \frac{c \times \Delta T - Q}{m} = \frac{(9288,707 \times 0,999) - 80}{0,48921} = 18804,641$$

$$H_d = H_g - 25,1 (V_v + 9 H) = 18804 - 25,1(5,8 + 9 \times 6) = 17303,02 \text{ kJ/kg}$$

Uzorak „B2“

$$C = 9288,707 \text{ J/K}$$

$$\Delta T = T_k - T_s = 1,3355 - 0,331 = 1,0045 \text{ K}$$

$$Q = 80 \text{ J}$$

$$T_s = 0,331$$

$$m = 0,48663 \text{ g}$$

$$T_k = 1,3355$$

$$H_g = \frac{c \times \Delta T - Q}{m} = \frac{(9288,707 \times 1,0045) - 80}{0,48663} = 19009,321$$

$$H_d = H_g - 25,1 (V_v + 9 H) = 19009 - 25,1(5,72 + 9 \times 6) = 17510,028 \text{ kJ/kg}$$

Uzorak „B3“

$$C = 9288,707 \text{ J/K}$$

$$\Delta T = T_k - T_s = 2,080 - 1,053 = 1,027 \text{ K}$$

$$Q = 80 \text{ J}$$

$$T_s = 1,053$$

$$m = 0,50225 \text{ g}$$

$$T_k = 2,080$$

$$H_g = \frac{c \times \Delta T - Q}{m} = \frac{(9288,707 \times 1,027) - 80}{0,50225} = 18834,250$$

Uzorak „C1“

$$C = 9288,707 \text{ J/K}$$

$$\Delta T = T_k - T_s = 1,640 - 0,5645 = 1,0755 \text{ K}$$

$$Q = 80 \text{ J}$$

$$T_s = 0,5645$$

$$m = 0,49596 \text{ g}$$

$$T_k = 1,640$$

$$H_g = \frac{c \times \Delta T - Q}{m} = \frac{(9288,707 \times 1,0755) - 80}{0,49596} = 19981,459$$

$$H_d = H_g - 25,1 (V_v + 9 H) = 19981 - 25,1(6,6 + 9 \times 6) = 18459,94 \text{ kJ/kg}$$

Uzorak „C2“

$$C = 9288,707 \text{ J/K}$$

$$\Delta T = T_k - T_s = 2,355 - 1,285 = 1,070 \text{ K}$$

$$Q = 80 \text{ J}$$

$$T_s = 1,285$$

$$m = 0,49299 \text{ g}$$

$$T_k = 2,355$$

$$H_g = \frac{c \times \Delta T - Q}{m} = \frac{(9288,707 \times 1,070) - 80}{0,49299} = 19998,208$$

$$H_d = H_g - 25,1 (V_v + 9 H) = 19998 - 25,1(11,38 + 9 \times 6) = 18356,962 \text{ kJ/kg}$$

Uzorak „C3“

$$C = 9288,707 \text{ J/K}$$

$$\Delta T = T_k - T_s = 1,417 - 0,340 = 1,077 \text{ K}$$

$$Q = 80 \text{ J}$$

$$T_s = 0,340$$

$$m = 0,49725 \text{ g}$$

$$T_k = 1,417$$

$$H_g = \frac{c \times \Delta T - Q}{m} = \frac{(9288,707 \times 1,077) - 80}{0,49725} = 19524,459$$

$$H_d = H_g - 25,1 (V_v + 9 H) = 19524 - 25,1(11,38 + 9 \times 6) = 17882,962 \text{ kJ/kg}$$

## Prilog 3

### ➤ Određivanje pepela

Od svake vrste peleta analizirana su dva uzorka. Korištena je keramička posudica koja se prethodno izvagala prazna, a zatim su uzorcima peleta. Keramička posudica s peletom se unosi u pećnicu na temperaturu od 570 °C. Nakon 4h uzorci su izvađeni i ohlađeni te izvagani i ponovno stavljeni na spaljivanje. Postupak se ponavljao dok se masa nije ustabilila.

Tablica 5: Prikaz mase peleta nakon postupka spaljivanja

Uzorak "A1"		Nakon sušenja	
masa prazne posude	9,90115 g		
masa posude i uzorka	11,57994 g	masa posude i uzorka	9,91020 g
masa uzorka 1	1,67879 g	masa uzorka 2	0,00905 g
		masa pepela	0,53%

Uzorak "A2"		Nakon sušenja	
masa prazne posude	9,49964 g		
masa posude i uzorka	10,96762 g	masa posude i uzorka	9,50727 g
masa uzorka	1,46798 g	masa uzorka	0,00763 g
		masa pepela	0,51%

Uzorak "B1"		Nakon sušenja	
masa prazne posude	8,85486 g		
masa posude i uzorka	10,81206 g	masa posude i uzorka	8,87253 g
masa uzorka	1,95720 g	masa uzorka	0,01767 g
		masa pepela	0,90%

Uzorak "B2"		Nakon sušenja	
masa prazne posude	10,03461 g		
masa posude i uzorka	11,68732 g	masa posude i uzorka	10,04937 g
masa uzorka	1,65271 g	masa uzorka	0,01476 g
		masa pepela	0,89%

Uzorak "C1"		Nakon sušenja	
masa prazne posude	8,70190 g		
masa posude i uzorka	10,78568 g	masa posude i uzorka	8,70882 g
masa uzorka	2,08378 g	masa uzorka	0,00692 g
		masa pepela	0,33%

Uzorak "C2"		Nakon sušenja	
masa prazne posude	8,60804 g		
masa posude i uzorka	10,58738 g	masa posude i uzorka	8,61383 g
masa uzorka	1,97934 g	masa uzorka	0,00579 g
		masa pepela	0,29%



Slika 10: Spaljivanje uzorka peleta

## Prilog 4

### ➤ Prosječna veličina peleta

Tablica 6: Prosječna veličina peleta

Uzorak A [mm]		Uzorak B [mm]		Uzorak C [mm]	
1	19,2 x 5,7	30,9 x 5,7	49,4 x 5,8	1	24,1 x 6,2
2	18,6 x 5,8	25	30,9 x 5,7	2	21,9 x 6,1
3	16,4 x 5,7	3	25,0 x 5,8	3	13,1 x 6,0
4	14,3 x 5,6	4	49,4 x 5,8	4	14,9 x 6,1
5	8,9 x 5,7	5	17,1 x 5,9	5	21,4 x 6,0
6	16,4 x 5,8	6	30,5 x 5,8	6	23,8 x 6,0
7	21,6 x 5,7	7	24,4 x 5,7	7	12,4 x 6,0
8	21,1 x 5,8	8	23,7 x 5,8	8	14,6 x 6,1
9	19,5 x 5,7	9	54,5 x 5,8	9	16,5 x 6,0
10	16,8 x 5,7	10	21,1 x 5,8	10	17,8 x 6,1
<b>Prosječna</b>	<b>17,28 x 5,72</b>	<b>Prosječna</b>	<b>32,58 x 5,79</b>	<b>Prosječna</b>	<b>18,05 x 6,06</b>

## Prilog 5

U posudu poznatog volumena nasipaju se peleti tako da vrh posude bude razmjerno prekriven peletima. Zatim se odvažuje njihova masa i izračuna gustoća.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

### ➤ Nasipna gustoća peleta



Slika 11: Nasipna gustoća peleta

Tablica 7: Nasipna gustoća peleta

Uzorak A	Uzorak B
V= 270 mL	V= 270 mL
1. m= 172,23615 g	1. m= 160,81830 g
2. m= 174,79895 g	2. m= 156,09175 g
3. m= 174,36655 g	3. m= 166,65185 g
P m= 173,80055 g	4. m= 157,79885 g
$\rho = 643,705 \text{ kg/m}^3$	5. m= 162,79880 g
	6. m= 164,07115 g
	P m= 161,37178 g
	$\rho = 597,673 \text{ kg/m}^3$







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Datum 8-09-2014 Prilog
Klasa: 602-04/14-6/2
Ur.broj: 15-1703-14-361

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student:

Viktor Zaman

Mat. br.: 0035169539

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**Analiza sastava, mogućnosti korištenja te utjecaja na okoliš peleta  
izrađenih od drvnog ostatka**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**Analysis of the composition, the possibilities of using and the  
environmental impact of pellets made of wood residues**

Opis zadatka:

Peleti izrađeni od drvnog ostatka, kao jednog od mogućih oblika biogoriva, su u odnosu na fosilna goriva znatno ekološki prihvatljiviji oblik goriva, a mogu se koristiti u industrijske i ne-industrijske svrhe. Peletiranje je postupak pripreme proizvoda – peleta – ugušćivanjem u obliku valjčića (češće) ili kuglica (rjeđe) koji se sastoji od mehaničkog zbijanja piljevine, blanjevine ili bruševine s vezivnim sredstvom ili bez njega. Drvena biomasa u obliku peleta omogućava postizanje stupnja automatiziranosti korištenja koja se obično do sada mogla postići samo korištenjem fosilnih (kapljeviti i plinoviti) goriva.

U svijetu je tek u zadnja dva desetljeća zaživjela proizvodnja i korištenje peleta, a tržište u Republici Hrvatskoj, što se tiče peleta od drvnog ostatka, je zapravo tek u začetku.

Stoga je u ovom radu potrebno:

- definirati osnovne pojmove vezane uz svojstva, proizvodnju i korištenje peleta;
- prikazati i objasniti zahtjeve međunarodnih i domaćih normi vezanih za pelete izrađene od drvnog ostatka
- prikazati razlike u zahtjevima i korištenju peleta u industriji i za ne-industrijske potrebe;
- nabaviti najmanje tri uzorka kemijski netretiranih peleta od drvnog ostatka dostupnih na tržištu i obaviti na njima osnovne laboratorijske analize (vlaga, dimenzije, nasipna gustoća, pepeo, gornja i donja ogrjevna vrijednost) te objasniti neke od specifičnosti laboratorijskih analiza koje su vezane za pelete, a ne za neka druga goriva (npr. ugljen).

U završnom dijelu rada potrebno je istražiti koje količine energije su potrebne za proizvodnju jedinične količine peleta, uzimajući u obzir i klasiranje drveta na tvrdo i meko drvo, prikazati procijenjene količine i udio peleta u količini biogoriva koja se koriste u Republici Hrvatskoj te usporediti te podatke s barem nekoliko europskih zemalja.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

23. travnja 2014.

2. rok: 12. rujna 2014.

2. rok: 22., 23. i 24. rujna 2014.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas

Prof. dr. sc. Igor Balen